

**SYNTHESE / EXTENDED ABSTRACT**  
FRANÇAIS / ENGLISH

**CONDITIONS DE PILOTAGE DE LA PRODUCTION DE METHANE  
DANS LES PROCEDES DE DIGESTION ANAEROBIE**

***MONITORING CONDITIONS OF METHANE PRODUCTION IN  
ANAEROBIC DIGESTION PROCESSES***

décembre 2018

**N. PAUTREMAT - SCANAE**  
**Y. MEMBREZ, N. MONTPART - EREP**  
**A. WELLINGER – Triple E&M**

Créée en 1989 à l'initiative du Ministère en charge de l'Environnement, l'association RECORD – REseau COopératif de Recherche sur les Déchets et l'Environnement – est le fruit d'une triple coopération entre industriels, pouvoirs publics et chercheurs. L'objectif principal de RECORD est le financement et la réalisation d'études et de recherches dans le domaine des déchets et des pollutions industrielles.

Les membres de ce réseau (groupes industriels et organismes publics) définissent collégalement des programmes d'études et de recherche adaptés à leurs besoins. Ces programmes sont ensuite confiés à des laboratoires publics ou privés.

**Avertissement :**

Les rapports ont été établis au vu des données scientifiques et techniques et d'un cadre réglementaire et normatif en vigueur à la date de l'édition des documents.

Ces documents comprennent des propositions ou des recommandations qui n'engagent que leurs auteurs. Sauf mention contraire, ils n'ont pas vocation à représenter l'avis des membres de RECORD.

- ✓ Pour toute reprise d'informations contenues dans ce document, l'utilisateur aura l'obligation de citer le rapport sous la référence :  
**RECORD**, Conditions de pilotage de la production de méthane dans les procédés de digestion anaérobie, 2018, 67 p, n°17-0160/1A
- ✓ Ces travaux ont reçu le soutien de l'ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie)  
[www.ademe.fr](http://www.ademe.fr)

© RECORD, 2018

## **RESUME**

La complexité du processus de digestion anaérobie demande le suivi de plusieurs paramètres afin de garantir la stabilité et le bon fonctionnement de l'installation. L'état de l'art des stratégies de suivi des installations de digestion anaérobie (paramètres, outils et techniques de mesure) est présenté dans ce document ainsi que les stratégies de suivi en développement. Une campagne d'enquête des acteurs de la filière (exploitants, constructeurs, experts, assureurs) au niveau français et européen a permis d'identifier les méthodologies de suivi effectivement utilisées. La campagne d'enquête a permis également d'avoir le retour d'expériences des exploitants d'installations de méthanisation sur les dysfonctionnements du processus. Sur la base de ces informations, les perspectives de recherche et d'innovation dans le domaine du suivi des installations de digestion anaérobie ont été proposées dans ce document, le but étant d'améliorer la performance des exploitations et la minimisation des risques de dysfonctionnement.

## **MOTS CLES**

Digestion anaérobie, biogaz, méthane, méthodologie d'analyses, stratégie analytique, performance, enquête

---

## **SUMMARY**

The complexity of the anaerobic digestion process requires the monitoring of different parameters in anaerobic digestion plants in order to guarantee stability and good performance of the system. The state-of-the-art of monitoring strategies in anaerobic digestion systems (parameters, devices, methods, measurement techniques) are presented in this document together with strategies in a development stage. A survey amongst the actors in the field (plant operators, technology suppliers, experts, insurances makers) in France and Europe has allowed identifying those monitoring strategies that are indeed in use. The survey has also allowed gathering the feedback from plant operators regarding process failures. Based on these pieces of information, the research and development perspectives concerning the monitoring of anaerobic digestion processes have been proposed in this document, being the main aim the improvement of process performance and the risk minimization of process failures.

## **KEY WORDS**

Anaerobic digestion, biogas, methane, monitoring techniques, performance, survey

## Contexte de l'étude

La méthanisation est un processus anaérobie de transformation biologique des composants organiques en biogaz. La nature du processus de méthanisation (comme tous les processus biologiques) entraîne des situations de risque qui peuvent conduire au dysfonctionnement des installations. Des conditions inadéquates peuvent avoir de sévères répercussions sur la survie du consortium microbien (inhibitions par ammoniac, inhibitions par acides gras volatils, toxicité, ...) jusqu'à nécessiter une vidange complète et un redémarrage des digesteurs avec toutes les conséquences économiques et environnementales que cela induit.

Notamment à échelle industrielle, pour que la filière soit économiquement viable, ce procédé biologique complexe doit pouvoir être maîtrisé pour piloter les installations de manière optimale et, en particulier, pour anticiper les problèmes d'inhibition à l'intérieur des digesteurs.

## Objectif et plan de l'étude

L'étude vise à identifier les perspectives de recherche et d'innovation dans le domaine du suivi et pilotage du processus biologique de méthanisation. Ces éléments sont proposés sur la base de (i) l'état de l'art de la filière Biogaz, qui décrit les paramètres et outils utilisables et en développement et (ii) sur la base d'une campagne d'enquête des acteurs du domaine (exploitants, constructeurs, experts, assureurs), qui présente les outils et méthodologies de suivi effectivement utilisés ainsi que les dysfonctionnements du processus de digestion survenus sur leurs exploitations. La campagne d'enquêtes est réalisée spécifiquement sur le territoire français et plus largement sur le territoire européen (Allemagne, Royaume Uni, Danemark, Pays-Bas, Belgique, Italie, Suède, Autriche, Suisse).

## Principaux résultats obtenus

### Etat de l'art

La méthanisation est un secteur d'activité en pleine expansion en France. Bien que cette tendance ait commencé à ralentir dans certains pays, l'utilisation du biogaz comme source d'énergie renouvelable est en croissance en Europe. Le modèle de production de biogaz est spécifique à chaque pays, de par les substrats privilégiés, les technologies de digestion utilisées, les technologies de valorisation du biogaz et les politiques d'encouragement différentes dans les différentes régions. Cependant, technologiquement une large prédominance des digesteurs en voie liquide est observée, correspondant à 90% des installations en France.

Le but étant d'améliorer la gestion des installations, et donc leur fonctionnement, en réduisant les risques des dysfonctionnements et d'accompagner le développement de la filière, des guides méthodologiques au niveau national sont publiés par les organismes privés ou publics des pays les plus actifs de la filière Biogaz (FNR, DBFZ, ADEME, ADBA, etc.). Les guides présentent les outils et méthodologies de suivi destinées aux exploitants des installations de méthanisation ou à des structures qui doivent surveiller les performances.

Les outils et méthodologies de suivi en développement sont identifiés lors d'une recherche bibliographique, comprenant des journaux scientifiques (revues scientifiques indexées, journaux professionnels) et des actes des conférences et réunions professionnelles de la filière Biogaz.

## Contextualization

*Anaerobic digestion (AD) is a biological process concerning the transformation of organic components into biogas. The nature of anaerobic digestion (like any other biological process) entails risk situations that can lead to the dysfunction of anaerobic digestion plants. Inadequate operating conditions can have a severe impact on the stability of the microbial consortium (ammonia inhibition, volatile fatty acid inhibition, toxicity, etc.) and even a complete draining and a new start-up of the digester can be necessary, with non-negligible economic and environmental consequences associated.*

*Specifically regarding full-scale industrial AD facilities, this complex biological process must be monitored and controlled in order to operate the plant in an optimal way, being able to anticipate inhibition problems inside digesters and hence ensuring economic feasibility.*

## Goals of the study and methods

*The study aims to identify research and innovation opportunities regarding control and monitoring of anaerobic digestion processes. These elements are proposed according to (i) the state of the art of the Biogas sector on monitoring techniques and strategies, which describes the parameters and tools that can be used and those that are under development and (ii) a survey research amongst biogas actors (plant operators, technology suppliers, experts, insurance makers), which underlines the monitoring tools and methodologies that are indeed used and presents the main dysfunctions experienced in anaerobic digestion plants. The survey research is carried out over the French territory and over other European countries (Germany, United Kingdom, Denmark, Netherlands, Belgium, Italy, Sweden, Austria and Switzerland).*

## Main results

### State-of-the-art

*Anaerobic digestion is a rapidly growing activity field in France. Although this trend has started to slow down in some countries, the use of biogas as renewable energy source is growing in Europe. The biogas production model is specific to each country, in terms of feedstocks, anaerobic digestion technologies used, biogas valorization technologies and encouragement policies. Nevertheless, a broad predominance of continuously stirred digesters (low solids AD) is observed in Europe, which corresponds to 90% of AD plants in France.*

*Methodology guides at the national level are published by private or public institutions in the most Biogas active countries (FNR, DBFZ, ADEME, ADBA, etc.). These publications aim at improving the management and operation of AD facilities, so that risks of malfunctions are reduced and in order to support the development of the sector. Methodology guides present useful tools and monitoring methodologies for AD plant operators or for any other structure needing to monitor AD process performance.*

*Monitoring tools and methodologies under development are identified through a literature research, including scientific journals (indexed scientific journals, professional journals) and conferences proceedings of professional meetings of the Biogas sector.*

A partir des renseignements des guides méthodologiques et de la bibliographie scientifique, l'ensemble de paramètres globaux utilisables et en développement sont identifiés et présentés. Ceux-ci sont distribués sous différentes typologies de paramètres de suivi du processus de méthanisation, l'ensemble de ces paramètres comprenant :



**Paramètres de suivi du processus biologique :**

Quantité et qualité des intrants, température, pH, alcalinité, matière sèche, matière sèche volatile, acides gras volatils, azote total, azote ammoniacal, hydrogène dissous, carbone organique totale, potentiel redox, composants traces, qualité du biogaz, température du biogaz, potentiel bio-méthanogène des intrants, populations microbiennes



**Paramètres de suivi du fonctionnement de l'installation :**

Niveau de remplissage du digesteur, charge organique volumique, temps de séjour, débit d'aération pour désulfuration biologique, formation de mousse



**Paramètres de suivi de la performance :**

Production de biogaz, potentiel résiduel de biogaz

La recherche bibliographique a également révélé les sujets de recherche en cours d'évolution qui concernent notamment : le développement d'outils de suivi en ligne, tels que les méthodes multi-paramètres (p.ex. infrarouges) ou les biocapteurs ; la détermination du potentiel bio-méthanogène ; l'analyse des acides gras volatils et la modélisation mathématique ainsi que le contrôle du processus biologique. Les efforts de développement en méthodes d'analyse ou de suivi de la méthanisation visent à simplifier l'accès aux résultats d'analyse (réduction du temps de l'analyse, diminution du coût, ...) ou à permettre le suivi en ligne.

### Campagne d'enquête

Suite au recensement des méthodes et outils utilisables et en développement, un sondage permettant d'identifier les stratégies de pilotage et les paramètres de suivi des digesteurs effectivement utilisés a été réalisé. La campagne visait également à obtenir un retour d'expérience sur des incidents ou dysfonctionnements spécifiques des systèmes de digestion.

La campagne d'enquête a rassemblé 60 retours d'enquêtes en France et 33 retours d'enquête en Europe. Le retour d'enquêtes apparaît représentatif de la répartition des acteurs de la filière (exploitants, constructeurs, experts), des procédés des installations (technologies de méthanisation en voie liquide et solide) et des typologies de site de méthanisation (installations industrielles, installations agricoles, stations d'épuration des eaux usées).

#### **a. Focus sur les dysfonctionnements principalement cités**

La campagne d'enquête révèle qu'en France comme dans le reste de l'Europe, les dysfonctionnements des installations sont principalement associés à des problèmes d'alimentation de ration et des dysfonctionnements biologiques en digestion. En France, il apparaît un problème de management ou du temps alloué au fonctionnement de suivi biologique.

*Based on the information collected from methodology guides and scientific literature, an array of usable global parameters and those under development are identified and presented. These parameters have been distributed under different categories of AD monitoring parameters:*



**Parameters to monitor the biological process:**

*Quantity and quality of feedstock, temperature, pH, alkalinity, dry matter, organic dry matter, volatile fatty acids, total nitrogen, ammonium nitrogen, dissolved hydrogen, total organic carbon, redox potential, trace elements, biogas quality, biogas temperature, biochemical methane potential of feedstock, microbial populations*



**Parameters to monitor the operation of the AD plant:**

*Digester filling level, volumetric loading rate, residence time, headspace micro-aeration flow rate for biological desulfurization, foam formation*



**Parameters to monitor AD performance:**

*Biogas production; residual biochemical methane potential*

*The literature research has also revealed that research topics mainly concern the development of online monitoring tools, such as multi-parameter methods (e.g. infrared) or biosensors; the assessment of biochemical methane potential; volatile fatty acid analysis and mathematical modelling and control of the AD biological process. Main efforts regarding the development of analytical methods to monitor the AD process are devoted to simplify the access to the analytical results (reduction of analysis time, reduction of cost, ...) or to allow online monitoring.*

### Survey research

*Following the identification of methods and tools that can be used and that are under development, a survey research was carried out to identify the control strategies and monitoring parameters of AD processes that are actually used. The campaign also aimed at gathering the feedback from AD plant operators regarding AD process failures.*

*The survey research comprised a total of 60 respondents in France and 33 in Europe. The survey research participation is representative of the different biogas actors targeted (plant operators, technology suppliers and experts), of different AD processes (low and high solids AD technologies) and types of AD plant (agricultural, collective, centralized, sewage sludge AD, industrial AD, OFMSW treating plants).*

#### **a. Feedback on AD process failures and dysfunctions**

*The survey research reveals that both in France and in the other European countries studied, the dysfunctions of AD plants are mainly related to feeding problems and biological dysfunctions during feedstock digestion. In France, these events seem to be the result of insufficient working time devoted to biological process monitoring and plant operation.*

**Tableau : Représentativité des facteurs de dysfonctionnements dans le cadre de cette enquête**

Facteurs de dysfonctionnements	Représentativité (%)	
	France	Europe
La variation en disponibilité et en qualité des gisements	40%	16%
L'alimentation difficile pour des gisements non homogènes et/ou des gisements secs tels que les fumiers et résidus agricole	27%	0%
La présence d'inertes engendrant des casses et une érosion prématurée de l'équipement	20%	33%
Des dysfonctionnements biologiques : H <sub>2</sub> S, des cas d'acidose, des cas d'alcalose	35%	50%
Les réglages de recirculation de percolât, en voie solide à alimentation discontinue	25%	0%
Le manque de ressource humaine pour le suivi du process biologique et l'exploitation des sites.	35%	0%

Dysfunctions and failures sources	Representativeness (%)	
	France	Europe
<i>Fluctuation in quantity and quality of feedstock</i>	40%	16%
<i>Feeding of heterogeneous feedstock and/or dry feedstock such as solid manure and crops residues</i>	27%	0%
<i>Presence of impurities leading to equipment erosion</i>	20%	33%
<i>Biological perturbations: H<sub>2</sub>S, VFA accumulation, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> - NH<sub>3</sub> accumulation</i>	35%	50%
<i>Percolate recirculation control in high-solids batch AD</i>	25%	0%
<i>Insufficient working time devoted to biological process monitoring and plant operation</i>	35%	0%

Il est à noter que moins d'effort est consacré à anticiper les dysfonctionnements qu'à les corriger une fois détectés. Ainsi le suivi de certains paramètres est plutôt réalisé après la détection du dysfonctionnement du processus biologique de digestion (par ex. réduction de la performance observée).

Les facteurs de dysfonctionnements concernent principalement la qualité des intrants, ce qui entraîne des situations d'alimentation d'une ration trop chargée en matière organique, d'une ration avec une teneur en matière sèche non adaptée à la technologie de digestion disponible, ou d'une surestimation du potentiel de production de méthane. L'hétérogénéité du mélange peut également entraîner l'instabilité de la température du milieu de digestion, la formation de couches flottantes, de croûtes et la constitution de volumes morts dans le digesteur.

Les dysfonctionnements biologiques se traduisent par des situations d'acidose et d'alcalose. La formation de sulfure d'hydrogène est également citée pour son caractère inhibiteur de la production de biogaz et la corrosion entraînée par ce gaz, résultant à des dysfonctionnements des outils de suivi de la ligne de biogaz (débitmètre, détecteurs de composition catalysés).

#### **b. Retour d'enquête sur la méthodologie de suivi**

L'enquête souligne que la méthodologie de caractérisation de la ration apparaît commune à tous les sites sans différenciation forte sur tout le territoire européen couvert par l'enquête. La fréquence est adaptée au nombre d'intrants. Une méthodologie de suivi de site est fréquemment préétablie par le constructeur, l'exploitant et/ou des experts en support des installations. Néanmoins des ressources humaines restreintes peuvent limiter l'application systématique et dans le temps de cette méthodologie, plus particulièrement pour les petits sites de méthanisation.

L'enquête présente les outils et méthodologies de suivi effectivement utilisés. Les points suivants peuvent être soulignés à ce sujet :

*More important efforts are devoted to solving process dysfunctions instead of trying to anticipate them. Hence, the monitoring of certain process parameters is rather carried out after a dysfunction of the biological digestion process (e. g. reduced performance) has been observed.*

*Fluctuations in quantity and quality of feedstock are the main dysfunction and failure sources. Other dysfunction sources concern the overload of organic matter, the feeding of feedstocks containing a dry matter content not adapted to the available digestion technology, or an over-evaluation of the biochemical methane potential. Input mixture heterogeneity can also lead to temperature instability of the digestion medium, the formation of floating layers, floating crusts and the presence of dead volumes in the digester.*

*Biological dysfunctions result in situations of acidosis (VFA accumulation) and alkalosis (NH<sub>4</sub><sup>+</sup> - NH<sub>3</sub> accumulation). Equipment corrosion caused after hydrogen sulfide formation is also mentioned, which also entails dysfunctions of monitoring tools in biogas pipelines (flow meter, catalyzed composition detectors).*

#### **b. Survey research feedback**

*The survey research results point out that the methodology for characterizing the input feedstock mixture appears to be very similar to all AD plants throughout the European territory targeted by this study. The frequency is adapted to the number of different feedstocks. Monitoring methodologies are frequently established by the technology supplier, the plant operator and/or experts performing counseling tasks. Nevertheless, limited human resources may limit the systematic use of these methodologies, especially in small AD plants.*

*The survey research presents the monitoring tools and methodologies that are actually used amongst biogas actors. The following aspects can be highlighted in this regard:*

- La campagne d'enquête auprès des acteurs de la filière a mis en évidence un écart entre les paramètres de suivi effectivement utilisés sur les installations de méthanisation et ceux qui sont disponibles et proposés par les constructeurs.
- Les principaux paramètres de suivi utilisés sur les exploitations comprennent : la quantité d'intrants réceptionnés et alimentés, la température du digesteur, le pH, le rapport FOS/TAC, l'azote ammoniacal, le débit de biogaz et sa teneur en méthane, dioxyde de carbone et sulfure d'hydrogène. Concernant d'autres paramètres de fonctionnement les niveaux de remplissage, le temps de séjour et la consommation énergétique sont généralement suivis.
- Les méthodologies de mesure sont simples pour tous les types d'installations, de petite à de grande taille, ainsi que les installations soient agricoles ou industrielles. Souvent des méthodologies de suivi consistent en des estimations ou des mesures indirectes des paramètres de suivi (quantification par volume de bennes, temps de marche des pompes ou force exercée par éléments mobiles, par exemple).
- Les paramètres et méthodologies de suivi diffèrent en fonction des technologies de digestion en place (points de prélèvement, utilisation de la donnée pour agir sur l'installation).
- Les paramètres et méthodologies de suivi diffèrent également en fonction des intrants en digestion. La pertinence de l'analyse de certains paramètres n'est effectivement pas identique pour tous les intrants.
- Le suivi en ligne de paramètres est très peu répandu, et il est seulement utilisé pour des paramètres tels que la température, le débit de fluides (intrants liquides, biogaz) et la composition du biogaz. D'autres paramètres sont suivis en ligne grâce à l'automatisation d'équipements individuels (p.ex. moteur de couplage chaleur-force, circuit de chauffage, etc.).
- L'historisation de la donnée de suivi en vue de la valoriser n'est à ce jour que très peu appliquée sur les sites.
- Les coûts d'installation et d'entretien, le temps de travail, et/ou le manque de connaissance de l'importance de la donnée expliquent l'écart entre les paramètres de suivi utilisables et les paramètres de suivi utilisés dans les exploitations.
- *The survey research amongst the biogas actors revealed a gap between the monitoring parameters that are actually used on AD plants and those that are available and proposed by technology suppliers.*
- *The main monitoring parameters actually used on AD plants include: quantity of feedstock received and fed, digester temperature, pH, ratio FOS/TAC (i.e. VFA to alkalinity ratio), ammonium nitrogen, biogas flow rate and biogas composition (methane, carbon dioxide and hydrogen sulfide). Concerning other operating parameters, filling levels, residence time and energy consumption are generally monitored.*
- *Monitoring methodologies tend to be simple for all types of installations, from small to large AD plants, from agricultural to industrial plants. The monitoring of some parameters often relies on methodologies consisting on estimations or indirect measurements (e.g. quantification by volume of buckets, pump working time or force exerted by moving parts).*
- *Monitoring parameters and methodologies are different depending on digestion technologies in place (sampling points, use of measurement results to modify plant operation).*
- *Monitoring parameters and methodologies also differ according to feedstocks fed. Indeed, the analysis of certain parameters is not pertinent for all feedstocks.*
- *Online monitoring is not very common, and it is mostly used for parameters such as temperature, flow rates (liquid feedstocks, biogas) and biogas composition. Some parameters are monitored online by means of other equipment (e.g. combined heat-power unit, heating network, etc.).*
- *The use of a data record is very limited.*
- *The lack of human and financial means can explain the differences between usable parameters and effectively used parameters.*

## Perspectives de recherche et Innovation

Le rapprochement des résultats des enquêtes et de l'état de l'art du suivi des unités de digestion conduit à proposer des perspectives de recherche et d'innovation pour le suivi du processus biologique de méthanisation.

En amont, il apparaît important de rappeler que la méthodologie associée à l'identification des stratégies de pilotage et des paramètres de suivi effectivement utilisés s'appuie sur une approche ascendante, dite aussi bottom-up, de campagnes d'enquêtes ; par conséquent les conclusions et perspectives sont limitées aux connaissances et à l'expérience des enquêtés.

L'enquête et les bibliographies technique et scientifique révèlent que les exploitants disposent d'un panel d'outils de suivi répondant au suivi du processus biologique. Et via l'enquête, les différents acteurs de la filière biogaz prononcent un intérêt

## Research and innovation perspectives

*Research and innovation perspectives for the monitoring of the biological process can be proposed according to survey research results and the state-of-the-art of AD process monitoring. It is important to note that the methodology associated with this study is based on a bottom-up approach survey campaigns, therefore, the conclusions and perspectives are limited to the knowledge and experience of the respondents.*

*The survey research results and the literature research show that AD plant operators have an array of monitoring tools responding to their needs and expectations on process monitoring. The survey research feedback specifically reveals that the development of further monitoring tools and methodologies is not a priority amongst biogas actors. Some respondents believe that developments and innovation in this field should concern the improved accessibility to the measurement and the data record and valorization. In this sense, monitoring strategies aiming at an immediate valorization of the measurements appear to be of interest in order to increase biogas production in small*

restreint des différents acteurs de la filière biogaz pour le développement de nouveaux outils de suivi du processus biologique. Cependant, pour les acteurs ayant répondu favorablement à de nouveaux développements, les attentes d'innovation se posent donc prioritairement sur une accessibilité plus immédiate de la mesure, ainsi que l'historisation et la valorisation de la donnée. Un suivi associé à une valorisation immédiate des mesures apparaît d'intérêt également pour augmenter la production de biogaz des petites installations. Les perspectives de recherche et d'innovation possibles révélés concernent les aspects suivants :

- Le développement de méthodes d'analyses pour la caractérisation rapide de la qualité des intrants. La caractérisation rapide de substrats permettrait ainsi l'optimisation de la gestion des intrants, de la stratégie d'alimentation du digesteur, et finalement de la production de biogaz. A la rapidité d'analyse, s'ajoute l'intérêt croissant de disposer d'outils de caractérisation sur site et sans prélèvement ; idéalement l'exploitant disposerait ainsi d'une analyse immédiate de suivi de la qualité des intrants, par l'utilisation d'une sonde ou d'un capteur non destructif. L'étude référence les analyses en développement pour la caractérisation rapide des intrants.
- Le développement de techniques d'analyse en ligne du paramètre FOS/TAC. L'utilisation de ce paramètre de suivi est bien perçue par les exploitants, ce qui rendrait ce nouvel outil de mesure potentiellement utilisable. Bien que commercialement disponible, les analyseurs en ligne des paramètres du suivi biologique sont très peu rencontrés sur site de méthanisation. Les caractéristiques principales de ces analyseurs sont d'être en ligne, multi-paramètres, sous une analyse rapide. Les freins à leur utilisation sur site de méthanisation sont : i) le coût associé à leur calibration, leur fonctionnement et maintenance sur site, ii) les exigences techniques d'analyse de digestat et d'exactitude sous un environnement hostile pour les systèmes analytiques.
- La pertinence des outils et/ou méthodologies de mesure aux différentes technologies de digestion. L'adaptation des outils de mesure en ligne aux différentes technologies de digestion, étant donné que les outils utilisés couramment pour des systèmes en voie liquide ne sont pas forcément adaptés aux technologies en voie solide.
- L'implantation de modèles mathématiques qui en fonction des intrants permettent d'anticiper les dysfonctionnements du processus de digestion, solution bien adaptée lorsque la qualité des intrants est bien définie.
- Les stratégies de suivi et mesure qui permettent, au travers d'une boucle de contrôle, d'assurer l'homogénéité du mélange pour les technologies infiniment mélangé et d'éviter ainsi la formation de couches et de croûtes, la perte de volume utile, par exemples, dans le digesteur.

## Conclusions

En France comme dans le reste de l'Europe, les **défauts de performances** des installations de méthanisation sont principalement dus à des problèmes d'alimentation de la ration à digérer, ainsi que des dysfonctionnements du processus biologique. Les **coûts d'exploitation** importants et des ressources humaines restreintes peuvent limiter l'application systématique et régulière de la méthodologie de suivi préconisée lors de la mise en service de l'installation, plus particulièrement pour les petits sites de méthanisation.

Les interlocuteurs enquêtés estiment que le **panel de méthodes et d'équipements disponibles répond bien au**

size AD plants. Research perspectives and possible innovations on monitoring techniques and devices could concern the following topics:

- *The development of analytical methods for a fast feedstock quality characterization. A fast characterization of the feedstock allows the optimization of feedstock management, of feeding strategy and of biogas production. In addition to the analysis quickness, there is a growing interest in having characterization tools for on-site monitoring and without sampling required; ideally the plant operator would have an immediate result of feedstock quality, using a non-destructive probe or sensor. Analytical strategies under development for a rapid characterization of feedstocks are referred in this work.*
- *The development of online analytical techniques for the FOS/TAC ratio assessment. The use of this monitoring parameter is to date well accepted by plant operators, which makes of this analytical technique a potentially usable monitoring strategy in the future. Although commercially available, online analyzers of biological process monitoring parameters are seldom encountered on AD facilities. The main features of these online analyzers are that they are able to perform a fast multi-parameter analysis. The obstacles blocking their use are i) the cost associated with their calibration, their on-site operation and maintenance, (ii) the technical requirements for digestate analysis and the accuracy under an aggressive environment for analytical devices.*
- *The adequacy of monitoring tools and methodologies to different technologies of AD. The adaptation of online measurement tools to the different technologies of digestion, since the tools commonly used for low-solids AD systems are not necessarily adapted to high-solids AD technologies.*
- *The implementation of mathematical models that, depending on the nature of feedstocks, allow identifying in advance dysfunctions of the digestion process, a solution that is well adapted when the quality of feedstock is well known.*
- *Monitoring and measurement strategies that allow, through a control loop, to ensure the homogeneity of the mixture for completely stirred AD technologies and thus avoid the formation of floating layers and crusts, the loss of useful digester volume.*

## Conclusions

*Both in France and the rest of the European countries studied, performance dysfunctions of AD are mainly due to problems of the feedstock mixture to be digested, as well as perturbations in the biological process. Important operating costs and limited human resources may limit the systematic use of monitoring methodologies defined during the commissioning of the AD facility, especially for small AD plants.*

*Survey research respondents consider that the range of methods and tools available is well adapted to their needs on monitoring of the AD process. Their expectations of innovation focus on a more immediate accessibility to the measurement result, on data record and later data valorization. Nevertheless, in connection to the dysfunctions*



**suivi** du processus biologique. Les **attentes des acteurs en matière d'innovation** se concentrent donc sur une accessibilité plus immédiate de la mesure, de l'historisation et de la valorisation de la donnée de suivi. Cependant, en lien avec les dysfonctionnements identifiés sur les exploitations enquêtées, et afin d'améliorer la performance du processus de digestion, plusieurs aspects pourraient faire objet de travaux de recherche et de développement : les systèmes de contrôle de l'homogénéité du mélange ; l'analyse en ligne du rapport FOS/TAC ; l'adaptation des outils et des méthodes de mesure applicables à l'ensemble des technologies de méthanisation ; la détection des inertes altérant notamment la qualité des digestats. Cette liste est non exhaustive et ces propositions sont issues d'un travail d'étude ascendante, via une campagne d'enquêtes auprès des acteurs de la filière, principalement investis en exploitation de méthanisation.

L'historisation de la donnée de suivi apparaît une préoccupation prioritaire des acteurs de filière en exploitation de digesteurs, dans l'objectif d'anticiper et d'éviter les dysfonctionnements ou de les régler avec plus de réactivité. Cette valorisation des données est d'autant plus pertinente dans le cadre des procédés en voie solide à alimentation discontinue. En effet, ces derniers procédés nécessitent une meilleure compréhension des phénomènes physicochimiques et biologiques agissant sur la matière lors de la digestion.

Il faut également signaler l'intérêt pour le développement de programmes de formation professionnelle. En effet une formation initiale donnée par le constructeur de l'installation, et/ou la participation des exploitants à des programmes de perfectionnement est la clé pour une bonne conduite de l'unité de méthanisation, pour optimiser la performance de l'installation et pour anticiper d'éventuels dysfonctionnements et risques liés à l'exploitation.

*identified on the AD plants interviewed, and in order to improve the performance of the AD process, the following aspects could be the focus of future research and development works: control systems of mixture homogeneity; online analysis of FOS/TAC ratio; adaptation of tools and measurement methods to the different AD technologies; the detection of impurities affecting in particular the quality of digestate. This non exhaustive list is the result of a bottom-up study, carried out by means of a survey research amongst biogas actors, with close look to plant operators.*

*Data record seems to be a priority concern for biogas actors, aiming the anticipation of dysfunctions or at least being able to adapt plant operation to sort out the perturbation. Data record and valorization is particularly important in high-solids batch AD systems. Indeed, these processes lack a better understanding of physicochemical and biological phenomena occurring during the AD process.*

*It is important to note the importance of professional training programs development. Indeed, an initial training provided by the technology supplier and/or the participation of plant operators in continuous training programs is a key factor for successful operation and management of an AD facility, so that performance is optimized, dysfunctions can be identified in advance and risks avoided.*